Ядро комети Чурюмова-Герасименко 3 серпня 2014 р. з відстані 285 км (Космічний аппарат РОЗЕТТА, Європейське Космічне Агентство)

# Фізика, динаміка і статистика комет, малих планет і метеорів: спостереження, відкриття та нові моделі

*Цикл робіт*

# АВТОРИ

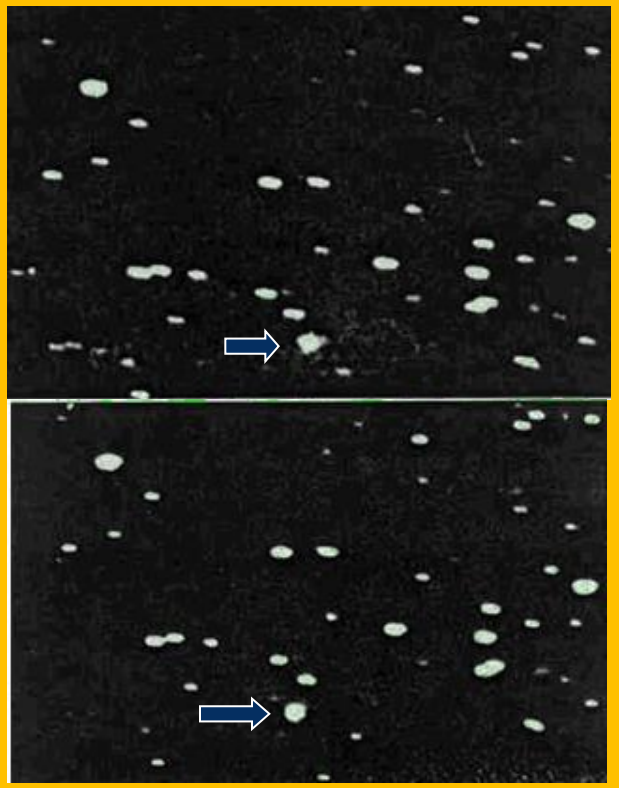
- **Юрій Іванович Волощук - доктор технічних наук, професор (Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки)**
- **Юрій Миколайович Іващенко - кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник (Головна астрономічна обсерваторія НАН України)**
- **Віталій Григорович Кручиненко - доктор фізико-математичних наук, професор (Бердянськ, Бердянський державний педагогічний університет)**
- **Клим Іванович Чурюмов – член-кореспондент Національної академії наук України, доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник (Київ, Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка)**

# СКЛАД ЦИКЛУ РОБІТ

- Цикл робіт “ Фізика, динаміка і статистика комет, малих планет і метеорів: спостереження, відкриття та нові моделі» присвячений дослідженню фізичних та кінематичних характеристик малих тіл Сонячної системи, до яких відносяться комети, астероїди та метеорна речовина.
- Цикл складається з 6 монографій та 110 наукових статей, опублікованих за період 1969-2012 р. у реферованих журналах, що містяться в базі SCOPUS (всього 241) - мають 306 цитувань, h=12. За даною тематикою захищено 5 докторських та 4 кандидатських дисертацій

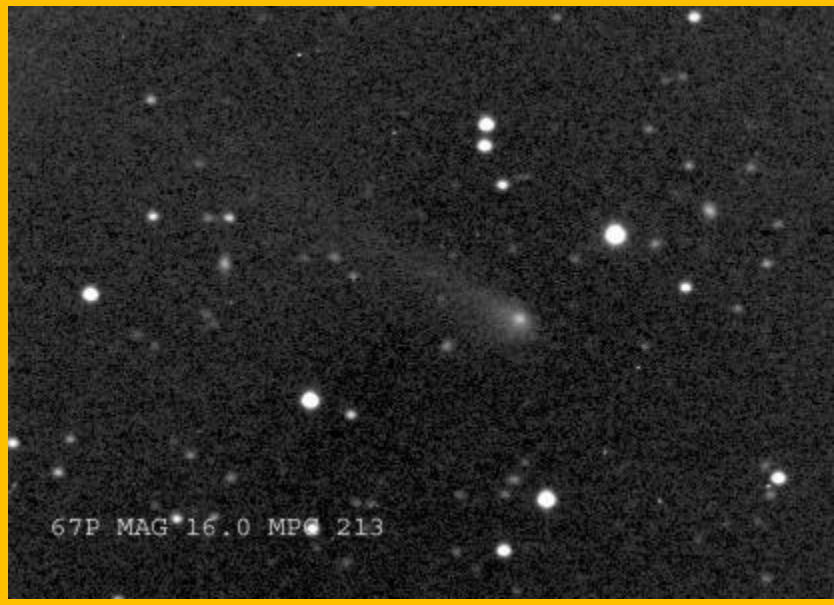
- До ансамблю малих тіл Сонячної системи відносяться кометні ядра, малі планети (астероїди, планетоїди) і величезна кількість метеорних тіл (метеорних потоків та асоціацій та окремих метеороїдів) , що заповнюють міжпланетний простір. Кометам властива унікальна здатність при наближенні до Сонця розвивати із порівняно невеликих за розмірами ядер (1-50 км) величезні газо-пилові оболонки (атмосфери), протяжність яких перевищує усі відомі об'єкти Сонячної системи – астероїди, планети і Сонце. Головна особливість кометного ядра – безперервна здатність відновлювати й підтримувати у великому об'ємі газо-пилову атмосферу, що складається з різних атомів, молекул, іонів, молекулярних комплексів і порошинок різних розмірів. Такий процес можливий внаслідок того, що кометні ядра складаються, в основному, із водяної криги та інших заморожених газів, іноді складного хімічного складу, включаючи органічні сполуки, а також із тугоплавкої метеоритної речовини у вигляді пилу і крупніших фрагментів. Внаслідок вихідної крижаної природи, кометні ядра вирізняються нестаціонарністю фізичних процесів, що в них відбуваються в результаті дії на кометне ядро сонячної корпускулярної і фотонної радіації.
- Відносно комет вважається, що в основному є дві великі популяції комет: хмара Епіка-Оорта, яка складається з довгоперіодичних комет з орбітами, що мають довільний нахил та афелій, та пояс Койпера-Еджеворта, що складається, в основному, з комет із малими нахилами орбіт і які породжують популяцію коротко і середньо періодичних комет, а також троянців і астероїдів з еліптичними орбітами, які перейшли у внутрішню Сонячну систему з поясу Койпера-Еджеворта із-за гравітаційного впливу планет-гігантів. Кометозималі були першими об'єктами, що об'єднались поза зовнішньою протосонячною туманністю у хмарі Епіка-Оорта і в поясі Койпера-Еджеворта й стали своєрідним «будівельним» матеріалом - „цеглинками" для всіх тіл Сонячної системи. Кометні ядра, які розташувалися за орбітою Нептуна на відстанях 30-55 а.о., сформували пояс Койпера-Еджворта. Кометні ядра, які сформувались поблизу планет-гігантів, мали наступні еволюціоні шляхи: акрекція на планету-гігант, викидання на гіперболічну орбіту з Сонячної системи, або ж перехід з короткопеpодичної на довгоперіодичну орбіту в хмару Епіка-Оорта, де кометні ядра зберіглися майже в незмінному стані. І наразі вони разом з астероїдами головного поясу малих планет і поясу Койпера-Еджворта є найдоступнішими зразками первісної речовини, з якої сформувалась Сонячна система.

- **ВІДКРИТТЯ, ТЕЛЕСКОПІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ КОМЕТИ 67Р/(ЧУРЮМОВА-ГЕРАСИМЕНКО) І ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ДИНАМІЧНОЇ І ФІЗИЧНОЇ ЕВОЛЮЦІЇ**
- **У 1969 р. К.І.Чурюмов разом з С.І.Герасименко відправилися до Алмаатинської обсерваторії. Астрономів з Києва приваблював факт існування в цій обсерваторії світлосильного 0,5 метрового меніскового максутовського рефлектора. З його допомогою вони розпочали фотографічне патрулювання декількох короткоперіодичних комет сімейства Юпітера, які за думкою проф. Всехсвятського є наймолодшими серед інших комет Сонячної системи, відзняли багато фотопластинок і виконали їхню обробку. На п'ятьох знімках було знайдено дифузний об'єкт, який спочатку прийняли за періодичну комету Комас Сола, яку і знімали на ці ж пластинки. Пізніше, коли астрономи повернулися з експедиції в Київ, то з'ясували, що цей об'єкт за координатами відрізняється на 2 градуси від теоретичного положення комети Кома-Сола. П'ять його точних положень, визначених по знімках, давали можливість точно обчислити орбіту комети. Вона виявилася еліптичною і належала дотепер невідомій короткоперіодичній кометі з періодом обертання навколо Сонця 6,5 років. Про відкриття було повідомлено в Центральне бюро астрономічних телеграм у США доктору Б.Марсдену, де фіксуються відкриття об'єктів у Всесвіті і Сонячній системі. Через кілька днів було отримано повідомлення, що це дійсно нова комета і її зареєстрували як комету 1969h або як комету Чурюмова-Герасименко (Рис.1.2.8). Наразі ця комета має постійний номер 67Р у всіх каталогах комет, які існують в світі. З моменту відкриття ця комета вже поверталася до Землі 7 разів. Перед її сьомою появою поблизу Сонця до комети відправлений КА “Rosetta”, що досягне її ядра в 2014 р.**
- **Цікавою виявилася і динамічна історія комети 67Р, тобто еволюція її орбіти в минулому. Виявилося, що за 10 років до відкриття в 1959 р. комета пройшла від Юпітера на дуже близькій відстані в 0.05 астрономічної одиниці або 7.5 мільйонів км, що істотньо трансформувало всі елементи її орбіти і головним чином перигелийну відстань, яка до цього тісного зближення з планетою-гігантом перевищувала 2.5 а.о., а після зближення зменшилася до 1.3 а.о. Саме після такої помітної зміни орбітальних елементів комета стала досяжною для фотографічних наземних спостережень з телескопами, завдяки чому , потрапила в 1969 р. в поле зору меніскового телескопа в Алма-Аті, і була відкрита.**



Комета 67Р/Чурюмова-Герасименко 21 вересня 1969 р. 2 фотографії отримані К.Чурюмовим за допомогою 50-см меніскового телескопу Алма-Атинської обсерваторі

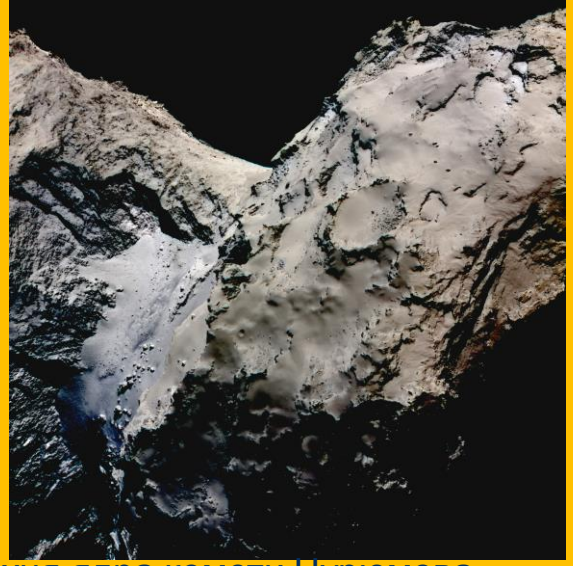
Комета 67Р/Чурюмова-Герасименко 12 січня 1983 р. Фотографія отримана К.Чурюмовим за допомогою 6-м телескопу САО РАН




Комета 67-Р/Чурюмова-Герасименко 28 дек 2002 г. Фото Ramon Naves & Montse Campas

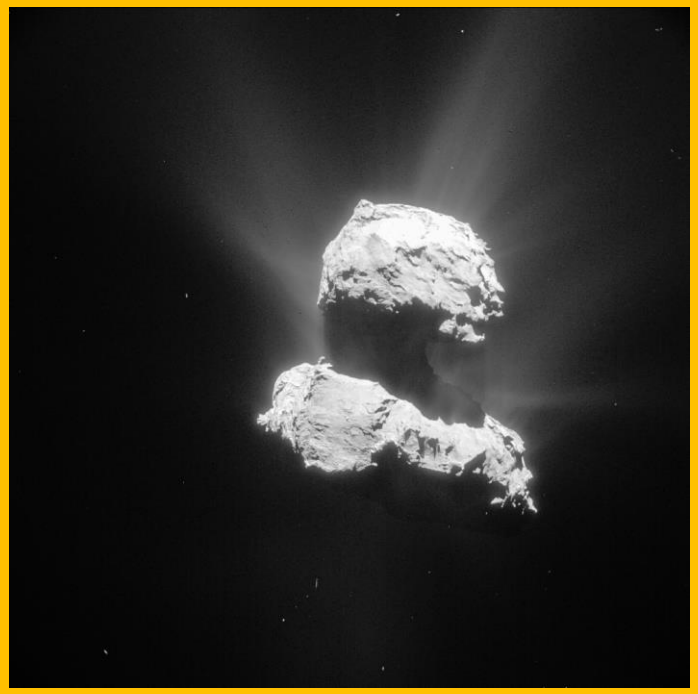
Комета 67Р/Чурюмова-Герасименко в 2003 р. Фото одержане на обсерватории Таутенберг, Німеччина

## Зображення комети 67Р/Чурюмова-Герасименко в різних появах



Поверхня ядра комети Чурюмова-Герасименко 14 серпня 2014 р. (Розетта)

Поверхня ядра комети Чурюмова-Герасименко 13 листопада 2014 р. в місці посадки Філ



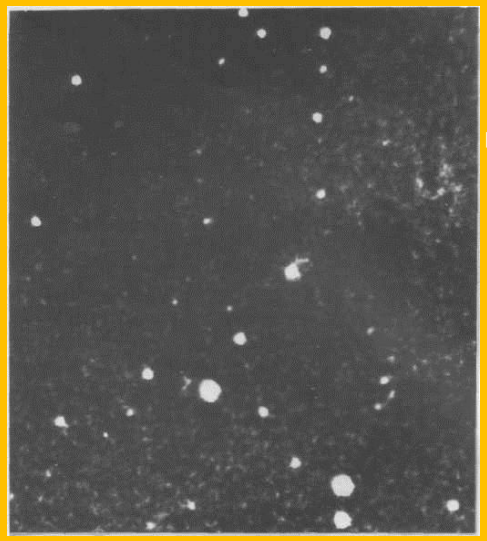
Ядро комети Чурюмова-Герасименко з джетами 26 квітня 2015 р. (Розетта)

Поверхня ядра комети Чурюмова-Герасименко 26 жовтня 2014 р. з відстані 7.8 км (Розетта)

До комети 67Р, відкритої в 1969 р. київськими астрономами К.І.Чурюмовим и С.І.Герасименко в серпні 2014 р. наблизився космічний апарат (КА) Європейської космічної агенції «Розетта» (вартість проекту 1.7 мільярдів євро) і вперше в історії науки здійснив посадку наукового зонду Філи на ядро комети 12 листопада 2014 р. і отримав унікальні наукові результати стосовно ядра комети, що складається з первинної речовини, з якої 4.5 мільярдів років тому сформувались Сонце і планети, в тому числі і планета Земля. Ця кометна реліктова речовина стала також джерелом складної органічної речовини, в тому числі амінокислот, які призвели до зародження життя на нашій планеті. Знання фізичних і хімічних властивостей реліктової речовини дозволить вирішити фундаментальні наукові проблеми космогонії Сонячної системи і зародження життя на Землі.

Головні задачі місії Розетта:

- Отримання глобальних характеристик ядра комети Чурюмова-Герасименко.та визначення динамічних властивостей, морфології поверхні і складу;
- Визначення хімічного, мінералогічного та ізотопного складу летких і вогнетривких речовин кометного ядра;
- Визначення фізичних властивостей і взаємозв'язку летючих і вогнетривких речовин кометного ядра;
- Вивчення розвитку кометної активності і процесів у поверхневому шарі ядра і внутрішній комі (взаємодія газу та пилу);
- Глобальні характеристики астероїдів Штейнса і Лютеції, в тому числі визначення динамічних властивостей, морфології поверхні і хімічного складу.



Фотографія комети Чурюмова-Солодовнікова (1986 IX ), отримана К.І. Чурюмовим 15.90031 липня за всесвітнім часом.

## ВІДКРИТТЯ ТА ПОЗИЦІЙНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ КОМЕТИ C/1986 N1 (ЧУРЮМОВА-СОЛОДОВНІКОВА). ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ОРБІТАЛЬНОГО РУХУ

**Комета Чурюмов-Солодовникова (1986 IX) була відкрита в результаті фотографічного патрулювання ділянки неба біля лінії екліптики в сузір'ях Стрільця, Водолія і Козерога. Патрулювання здійснювалося з потужними ширококутовими телескопами Астрофізичного Інституту імені В.Г.Фесенков Казахської Академії Наук на Каменському Плато з телескопами 0.5-м. і на Корональній Станції з телескопом Шмідт 0.40-м.. На п'яти пластинках, отриманих протягом липня 14-15, 1986, К.І. Чурюмов і В.В. Солодовніков, знайшли нову комету позначеною як 1986і = 1986 IX. Комета спостерігалася в інтервалі з 14 липня, 1986, по 25 березня, 1988. На основі спостережень, виконаних з 14 липня по 31 жовтня 1994 р., було використовано метод Енке і розраховано елементи орбіти. Первісна орбіта комети 1986 IX була визначена при віддаленні комети на геліоцентричну відстань = 50.132 для епохи = 1957, 4.0 серпня: = 1986, 25.98119 квітня, = 0.999120, q = 2.63337 , = 157.79532°, = 133.85082°, I = 114.70008°. Елементи первісної орбіти показують, що комета прийшла з найближчої ділянки Хмари Оорта, розташованої на геліоцентричній відстані близько 3000.**

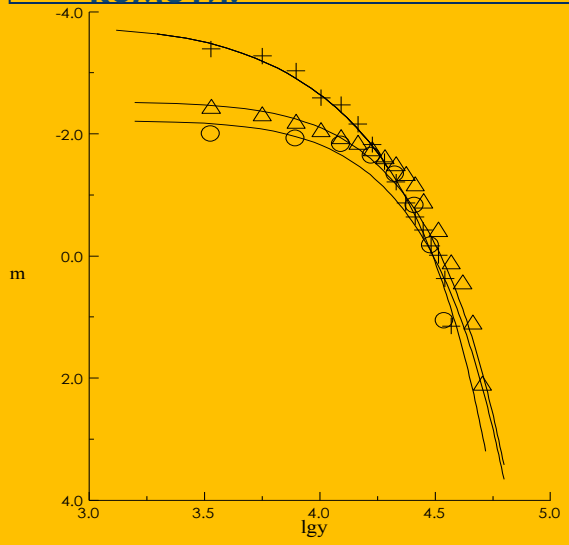
**Комета мала різке ядро, кому діаметром D = 16". і хвіст 36" в позиційному куті 323°; на відстані 19" від ядра, напрям хвоста різко змінився (позиційний кут = 273°), тобто хвіст нібито «зламався». Ядро комети залишалось гарячим після перигелію на геліоцентричній відстані більше 2 а.о.**

## ВІДКРИТТЯ ЕМІСІЇ НЕГАТИВНОГО ІОНА ВУГЛЕЦЮ В СПЕКТРІ КОМЕТИ СКОРІТЧЕНКА-ДЖОРДЖА (1990 VI)

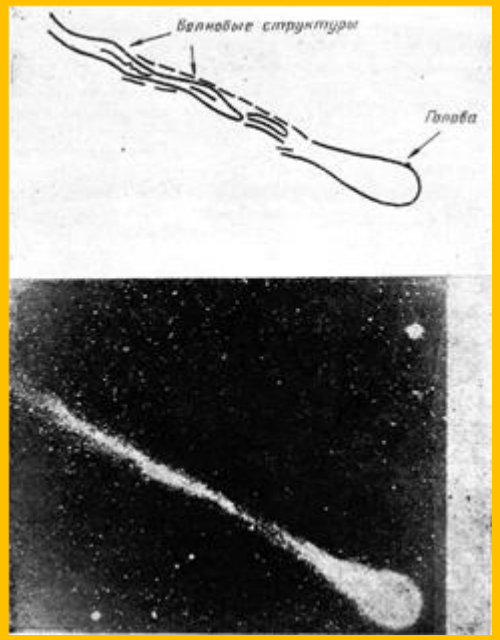
**На основі вимірювання довжин хвиль 360 емісій в спектрі комети Скорітченка-Джорджа (1990 VI), яка спостерігалась за допомогою телевізійного спектрального сканера 6-м телескопа БТА в САО РАН, ототожнено випромінювання багатьох типових кометних молекул: В цьому ж спектрі вперше визначено випромінювання іонів негативного N=9.22·10$^{11}$ см$^{2}$. [Шезі та ін.,1991] на основі мас-спектрів, отриманих з борту космічного апарата «Джотто» 14 березня 1986 р. у внутрішній комі ( км) комети Галлея (1986 III), вперше, ототожнювали негативно заряджені молекули-радикали і, за припущенням, тяжкий молекулярний іон . Факт виявлення негативних молекулярних іонів в кометі Галлея має велике значення для фізики кометних атмосфер, а саме для уточнення хімічної кінетики коми. Не менш важливою подією є також виявлення негативного заряджених молекул [Чурюмов, 1991] в спектрі комети Скориченко-Джорджа (1990 VI). Присутність негативних іонів в навколоядерній області комет Галлея [Шезі та ін. 1991] і Скорітченко-Джорджа (1990 VI) через малий час життя цих частинок, швидше за все, потребує особливих фізичних умов, які забезпечують протікання відповідних фотохімічних реакцій в навколо ядерній комі, в результаті яких утворюються спостережувані від'ємні іони. Не виключено, що такі умови могли б реалізуватися в рамках механізму об'ємного електролізу, запропонованого [Дробишевським, 1987] для ядра комети Галлея або в рамках іонно-молекулярної кластерної моделі кометного ядра, розробленої [Шульманом,1982, 1987].**

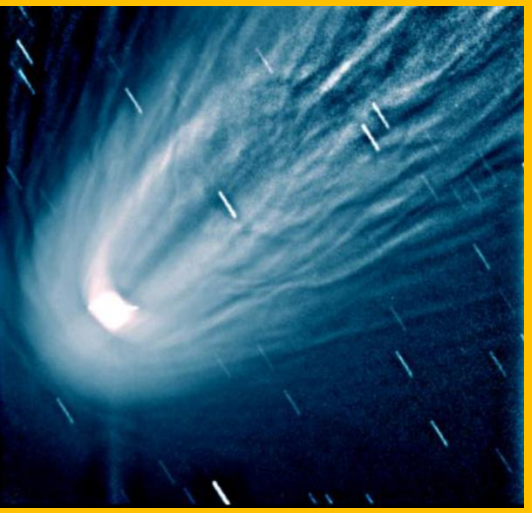
# ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАЗМОВИХ ХВОСТІВ КОМЕТ 1Р/ГАЛЛЕЯ, 67Р/ЧУРЮМОВА-ГЕРАСИМЕНКО, С/1982 М1 (ОСТИНА) ТА С/1970 N1 (АБЕ) ЗА ДИФУЗІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ ШУЛЬМАНА

- За допомогою вказаної моделі в роботах [Чурюмов и Шабас, 1998; *Шабас*, 1990, 1999, 2000] дана оцінка можливого фізичного стану плазмових хвостів комет С/1970 N1 Абе (24 моменти спостережень), 67/РЧурюмова-Герасименко (2 моменти), 1Р/Галлея (5 моментів).
- Індукція магнітного полю В в плазмових хвостах комет С/1970 N1 Абе, 67/РЧурюмова-Герасименко, 1Р/Галлея в нанотеслах визначалась за формулою Н.Шабас, виведеної на основі дифузійної моделі Шульмана:
- $$B \approx 2\times10^{11}\frac{T}{D_{||}}L_{||}/L_{\perp}$$ де Т – температура плазми хвоста комети $L_{||}$ та $L_{\perp}$.
- повздовжний та перерізний характерні масштаби, $D_{||}$ $D_{\perp}$ - повздовжний та перерізний коефіцієнти діфузії. Нижче на рис. приведені повздовжниі та перерізні фотометричні профілі плазмового хвоста кометти Чурюмова-Гекрасименко, головної цілі космічної місії Розетта. На підставі цих профілів було визначено значення магнітної індукції в хвості цієї комети.




Індукція магнітного поля в плазмовому хвості комети 67Р Чурюмова-Герасименко становить досить значну величину 111 нТ 12/I та 134 нТ 13/I), якщо порівняти її з відповідними вимірами космічним апаратом ICE у плазмовому хвості комети Джакобіні-Цінера (10-60 нТ ). Але плазмовий хвіст комети 67Р Чурюмова-Герасименко виглядає досить тонким і практично не розширюється по всій його довжині, що підтверджує можливість більшої замагніченності дослідженого хвоста.
Виміри магнітного поля Розеттою біля ядра комети Чурюмова-Герасименко показали близькі до визначеної нами індукції магнітного поля порядку 100 нТ.



# Нова модель хвильової променевої структури в плазмових хвостах комет

В багатьох плазмових хвостах комет спостерігаються як прямолінійні, так і хвильоподібні променеві структури. Прийнято вважати, що хвильві структури викликаються магнітогідродинамічними хвилями збудженими за рахунок взаємодії плазмових хвостів з обтікаючим їх потоком сонячного вітру. Один із механізмів, обговорюваний в ряді робіт, пов'язується з нестійкістю Кельвіна-Гельмгольца [Єршкович та ін., 1972; Єршкович і Хеллер, 1977; Єршкович, 1980]. Однак із процитованих робіт випливає, що нестійкість носить широкосмуговий характер і область хвильових векторів чи довжин збуджуваних хвиль не визначена. Пояснюючи при цьому принципову можливість розвитку нестійкості кометного хвоста, отримані результати не тільки не пояснюють існування в ньому виділених хвильових структур (з цілком визначеними частотами і довжинами хвиль), але на противагу, доводять неможливість їх виникнення саме в силу широкосмугового характеру збуджених збурень. Цю суперечність намагались зняти Єршкович і Черніков [1973], розглядаючи селекцію хвиль за рахунок нелінійних ефектів.. При розробці нової моделі – автори звернули увагу на особливий режим нестійкості Кельвіна-Гельмгольца, який реалізується поблизу порогу її збудження і призводить до виділення найбільш швидко прогресуючої моди із загального спектра. При цьому виникнення спостережуваних структур свідчить, про виконання цілком визначеного відношення між параметрами кометного хвоста і сонячного вітру, що може сприяти діагностиці цих параметрів.

Розраховані порядки величин добре узгоджуються зі спостережуваними. Особливо це відноситься до універсального співвідношення , $\lambda \sim (10-20)R$ ($\lambda$ - довжина хвилі, R – радіус променя плазмового хвоста комети. Це підтверджується даними багаторазових спостережень хвильових структур в кометних хвостах.

$$\lambda = \frac{2\pi R}{\sqrt{A}} \sim (10-20)R$$

## ТЕОРІЯ ПРОМЕНЕВИХ СТРУКТУР У ПЛАЗМОВИХ ХВОСТАХ КОМЕТ

Основою для дослідження різних плазмових явищ у хвостах комет I типу являється уявлення про взаємодію кометної плазми і потока сонячного вітру, що обтікає її і , частково, проникає в неї. Для пояснення спостерігаємих променевих структур вивчені два різні режими електромагнітної філаментаційної нестійкості сонячного вітру у плазмі хвоста комети. Іони кометної плазми і сонячного вітру вважалися без зіткнень, а зіткнення електронів, обумовлені розсіянням на іоннозвукових коливаннях, характеризувались ефективною частотою зіткнень $\nu_{eff}$ . Виходячи із системи рівнянь руху для електронних і іонних компонент і рівнянь Максвела, вивчаючи малі збурення фізичних величин пропорційні $\exp\{i(\omega t-k_{\perp}x)\}$, після лінеаризації рівнянь і нескладних перетворень, отримано загальне дисперсійне рівняння.

**В новій моделі розглядалась одновимірна область довжиною L, з якою суміщається вісь X декартової системи координат. Іони пучка і плазми зображались "крупними частинками", що мали вигляд плоских листів, перпендикулярних до вісі X. Кожна частинка переносить однакову частину заряду пучка і плазми, відповідно, і характеризується координатою на вісі X і трьома компонентами швидкості $\{V_{x\alpha}, V_{y\alpha}, V_{z\alpha}\}$ (тут $\alpha=i_1, i_2$ для пучка і для плазми). Вважалося, що електронна компонента утворює однорідний незбурений фон. Вздовж вісі X вводилась рівномірна ейлерова сітка. Товщина кожної крупної частинки вибиралася рівною шагу просторової сітки. Вивчалась аперіодична нестійкість з хвильовим вектром , направленим вздовж вісі X.**

**Загальна схема моделювання зображається слідуючими етапами. Часовий інтервал розбивається на кілька шарів. На кожнім шарі заряди і токи крупних частинок роздаються на ейлерову сітку. Потім на цій же сітці визначаються електричні та магнітні поля. Сили, що діють на конкретні частинки, знаходяться за допомогою лінійної інтерполяції полів у точці розміщення частинок. Знаючи сили, діючі на частинки, можна розв'язати рівняння руху, тобто перейти до нового часового шару з визначенням координат і швидкостей частинок. Далі процедура повторюється стільки разів, скільки потрібно для вивчення того чи іншого фізичного процесу.**

# ТЕОРІЯ ПРОМЕНЕВИХ СТРУКТУР У ПЛАЗМОВИХ ХВОСТАХ КОМЕТ

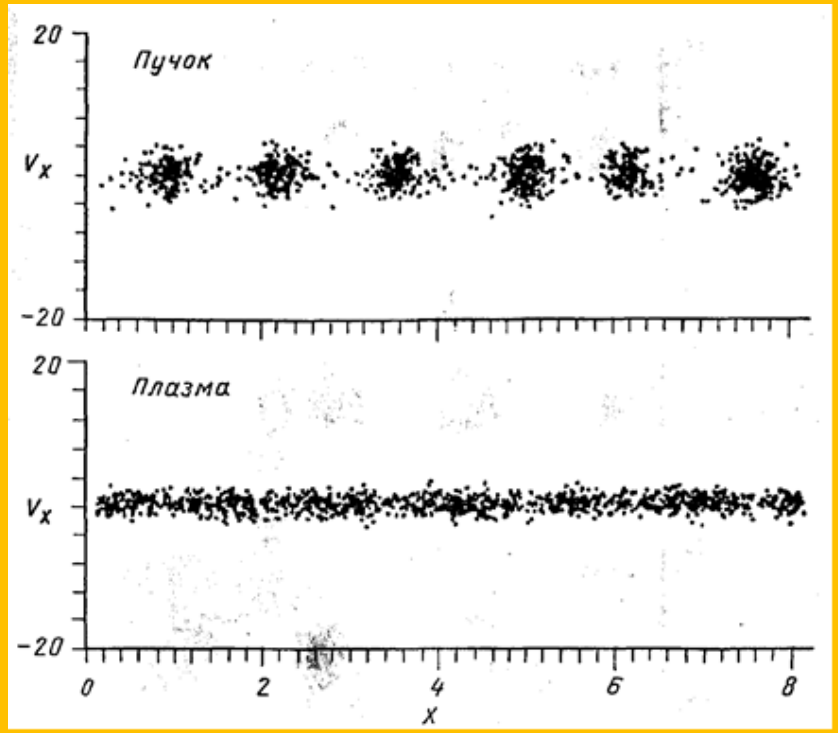



Рис. Фазові портрети пучка і плазми на нелінійній стадії філаментаційної нестійкості на момент часу t = 200 з зовнішнім магнітним полем (($\omega_{Hi}$ = 0.2) і без урахування зіткнень электронів ($\nu_{еф}$ = 0)

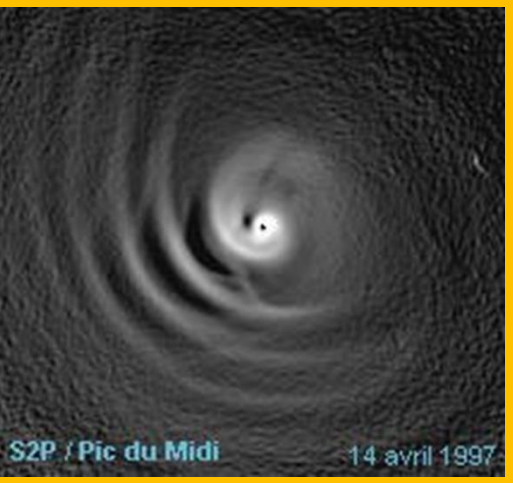
Більш детально досліджено дисипативний випадок ($\omega_{Hi}$=0.2, $\nu_{еф}$=2), найбільш близько відображаючий умови реальних експериментів. Як і раніше розглядалась система з довжиною L =8, що відповідало , довжинам хвиль для мод с максимальним інкрементом. Динаміка розвитку нестійкості при різних моментах часу ( t = 12, 24, 30, 42, 60) наведена на рис., де приведені фазові портрети потоку. Фазові портрети пучка і плазми ($V_X$,x) в початковий момент часу t=0 (а) і на нелінійній стадії філаментаційної нестійкості в момент часу t=200 ($\nu_{еф}$=0). Показана динаміка розвитку нестійкості у дисипативному випадку($\nu_{еф}$ =2) в моменти часу t=12, 24, 30, 42, 60 (в). Представлено результат розвитку нестійкості (г), показані фазові портрети і відповідні профілі густини $n_{b,p}$(x) пучка і плазми. Спочатку, при t = 12 добре видно утворення , філаментов і наростання відповідної Фур'є моди у спектрі магнітного поля. Зі стискуванням філаментів зростає їх поперечна температура. Між філаментами діють сили притяжіння, что призводить до їх достатньо швидкого об'єднання і формування уже при t = 60 двох філаментів, які зберігаються до кінця численного експерименту ( t = 200) практично без змін. Їх просторовий розмір дорівнює половині максимально допустимої довжини хвилі, знайденої в лінійній теорії, що складає $5\cdot10^3 \div 10^4$ км і добре узгоджується з даними спостережень променевої структури в плазмових хвостах комет. Можливо, саме цей режим нестійкості приводить до спостерігаємої візуально великомасштабної стратифікації.

# ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ, РОЗМІР ЯДРА ТА ЕВОЛЮЦІЯ ОРБІТИ КОМЕТИ ХЕЙЛА-БОППА

**Наведені дані про спостереження комети Хейла-Боппа (C/1995 01), про зміну її блиску з часом, а також деякі аргументи на користь її великого за розміром ядра. Для визначення розміру ядра комети Хейла-Боппа складено і проаналізовано рівняння балансу енергії. При цьому використані деякі параметри, які були отримані в ході космічних експериментів, пов'язанних із дослідженням комети Галлея. Так було прийнято значення альбедо A = 0.04 для тієї частини поверхні ядра, яка вкрита мінеральною корою і не сублімує. Предствляючи ядро комети Галлея трьохосним еліпсоїдом (a×в×c = 15×8×7.5 км), розрахували його параметр форми за Епіком [Opik, 1958]: B = Rекв Sп / V = 3.20 , де Rекв = (a×в×c)1/3, Sп – повна поверхня еліпсоїда, V – його об'єм. Параметр B також використали для ядра комети Хейла-Боппа. Рівняння балансу енергії для ядра комети Хейла-Боппа аналізуємо для моменту, коли комета проходила перигелій і швидкість виділення парів води з ядра досягла $3\times10^{8}$ г×$c^{-1}$. До рівняння балансу енергії входять наступні складові: енергія, яка підводиться від Сонця і поглинається ядром комети; енергія сублімації і енергія теплового випромінювання тієї частини (1 – γ) поверхні ядра, яка не сублімує і покрита мінеральною корою. Середня температура поверхні ядра (мінеральної кори) в перигелії, згідно з нашими розрахунками, складає 330 К. У результаті отримана залежність значення Rекв від γ, частини поверхні ядра, яка є джерелом сублімації.**

**Мінімальне значення радіуса ядра $R_{екв}$ (при γ = 1.0; тобто сублімує вся поверхня) дорівнює 14.6 км. При γ = 0.5 величина $R_{екв}$ = 20.7 км; при γ = 0.1 (приблизно таке значення γ мало ядро комети Галлея) $R_{екв}$ = 46.3 км. Наведені результати розрахунків еволюції елементів орбіти комети Хейла-Боппа на період до її наступної появи біля Землі та Юпітера. Із Юпітером вона не зіткнеться (обидва проходження біля Юпітера відбудуться на відстанях, не менших 4 а.о.), а період її обертання навколо Сонця становитиме 2398±1 років. Урахування негравітаційного ефекту, пов'язаного з реактивною силою сублімації, не впливає суттєво на еволюцію елементів орбіти, тому що його величина знаходиться у межах похибок вихідних даних.**

# ГАЗО-ПИЛОВІ ОБОЛОНКИ КОМЕТИ ГЕЙЛА-БОППА



**Спіральні газо-пилові утворення навколо ядра комети - подія рідкісна, а стійке відтворення їх у випадку комети Гейла-Боппа, що спостерігалося тривалий час (більше двох років) і реєструвалось великою кількістю наземних і орбітальних оптичних інструментів, - явище унікальне.**

***Спостереження.*** **Оболонки (дуги, спіралі) в навколоядерній області комети Гейла-Боппа зареєстровано у березні-травні 1997 року на телескопі АЗТ-8 (F = 28 м, D = 0.7 м) спостережної станції Київського університету ім. Тараса Шевченка в с. Лісники поблизу Києва [Churyumov et al., 1999a; Churyumov et al., 1999b; ].**

**Спостереження проводилися переважно в інтервалі 21-24 год місцевого часу з тривалістю від 6 хв до 2 год 45 хв, і лише в ніч 24/25 березня 1997 р. виконано вечірні і ранкові спостереження.**

**Зображення навколоядерної області реєструвалися як в інтегральному світлі, так і з використанням інтерференційних IHW-світлофільтрів із вузькими смугами пропускання: $CO^+$, $\lambda_{еф}$ = 426 нм; $C_3$, $\lambda_{еф}$ = 496 нм; $C_2$, $\lambda_{еф}$ = 514 нм; RC (червоний континуум), $\lambda_{еф}$ = 684 нм. Використовувався також поляроїд у поєднанні з фільтром RC. За один інтервал спостережень одержували від 6 до 24 знімків. Загалом одержано близько 300 знімків, на кожному з яких зафіксовано від 1 до 4 оболонок.**

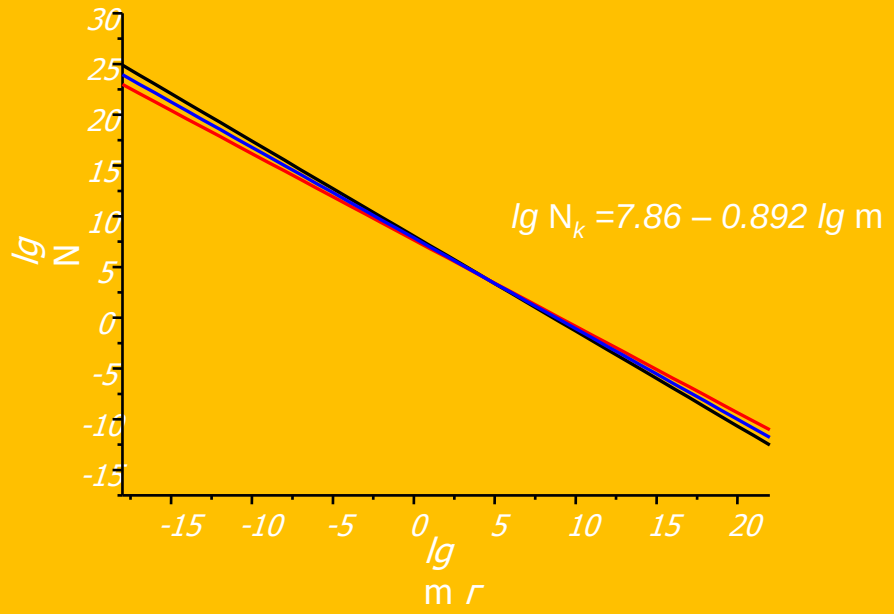
**Умови спостережень та режими реєстрації навколоядерної області комети Гейла-Боппа дозволили отримати зображення до 4-х найближчих до ядра газо-пилових оболонок. За матеріалами спостережень у березні-квітні 1997 р. проведено аналіз міждобового зміщення окремих оболонок, одержано усереднені характеристики періодичності формування оболонок та визначено період обертання ядра – T = 11.41±0.05$^h$).**

# ДОПЛИВ КОСМІЧНОЇ РЕЧОВИНИ НА ЗЕМЛЮ

**Знадено середню узагальнену криву допдиву космічної речовини на Землю у вигляді:**

$$\lg N = 7.86 - 0.892 \lg m$$

**де N – інтегральний доплив тіл з массою не меншою m (у грамах) на всю Землю за рік.**




**Узагальнена інтегральна залежність допливу космічної речовини на Землю**

**Формула (2.26) дає деяку середню характеристику темпу доплива космічних тіл на Землю. Згідно (2.26), загальна кількість космічної речовини, яка попадає на Землю за рік, складає 0.14 Мт, тобто оцінка близька до того, що дає залежність (2.23).**

**г) Кожну добу в атмосферу Землі входить біля 400 метеороїдів з масами не менше 1 кг. Приблизно 30% з них досягають 30 км і менше, а біля 0.5% – випадають на поверхню Землі. Кожного року на Землю випадає близько 800 метеоритів.**

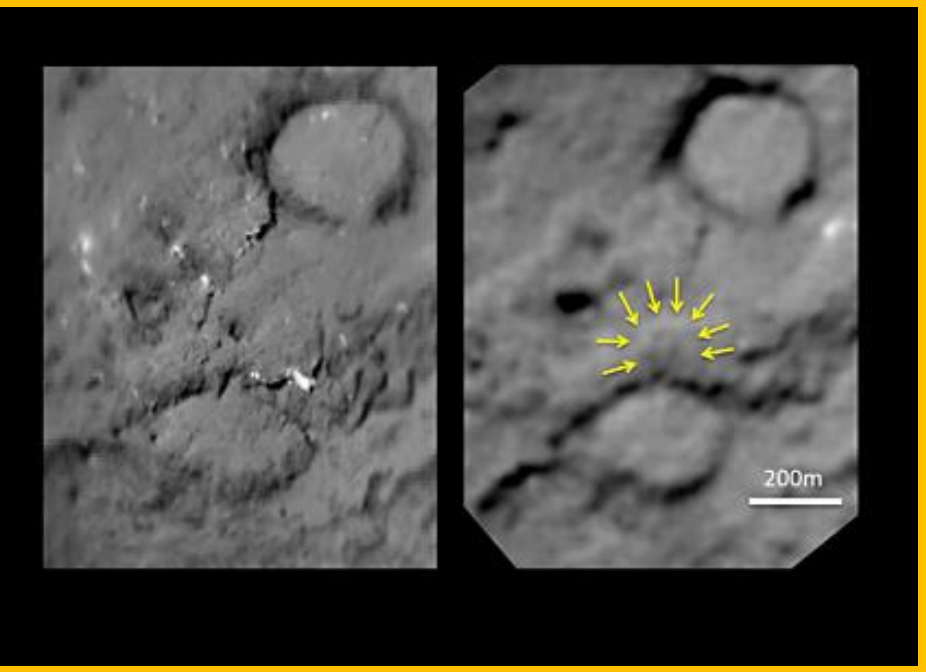
**д) Найбільше тіло, яке падає на Землю протягом року складає приблизно $10^3$ тонн.**

**е) Явище типу Тунгуського відбувається один раз за 1300 років.**

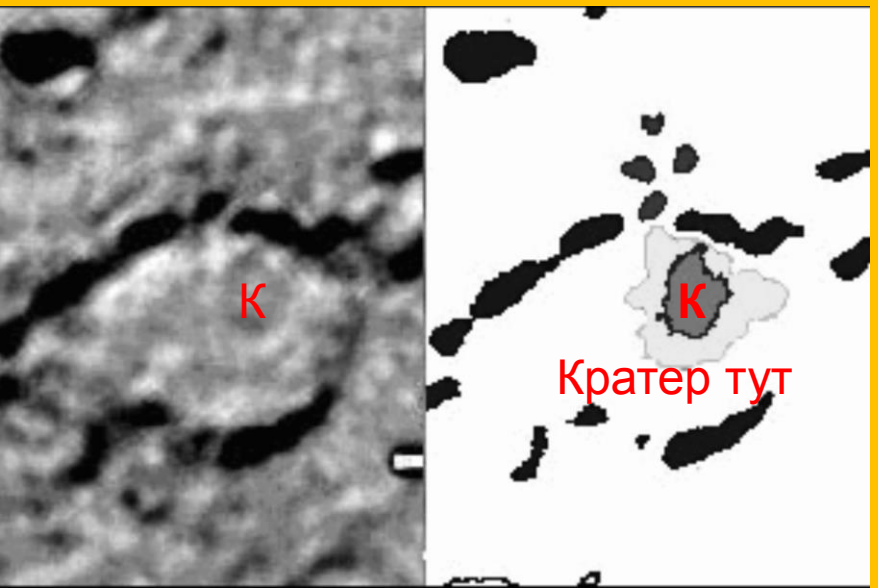
## Нова теоретична модель утворення вибухового кратера на поверхні космічного тіла

**Розроблено нову теоретичну модель утворення вибухового кратера на поверхні космічного тіла – ядра короткоперіодичної комети 9Р/Темпеля 1. Модель була перевірена для Аризонського кратера. Розрахунки показали, що вибух мідного ударника в мішені відбувається на такій глибині занурення, де він досягає максимального гальмування. Показано, що в результаті зіткнення мідного імпактора космічного апарата "Діп Імпект" з ядром комети 9Р/Темпеля на поверхні ядра комети повинен був утворитися штучний вибуховий кратер діаметром від 40 до 80 метрів і глибиною від 4.8 до 5.6 м. Модель отримала підтвердження при прольоті космічного апарату Епоксі поблизу ядра комети 9Р/Темпель 1 в 2011 р. – штучний кратер на ядрі мав діаметр ~60 м. Також знайдено реальне положення штучного кратеру на ядрі комети опублікованого в Інтернеті9Р/Темпель 1 (В.Г.Кручиненко, К.І.Чурюмов) на відміну від помилкового положення кратеру, опублікованого американськими вченими..**

# THE ARTIFICIAL EXPLOSIVE CRATER ON THE ICE COMET 9P/TEMPEL 1 NUCLEUS: REAL SIZES AND POSITION

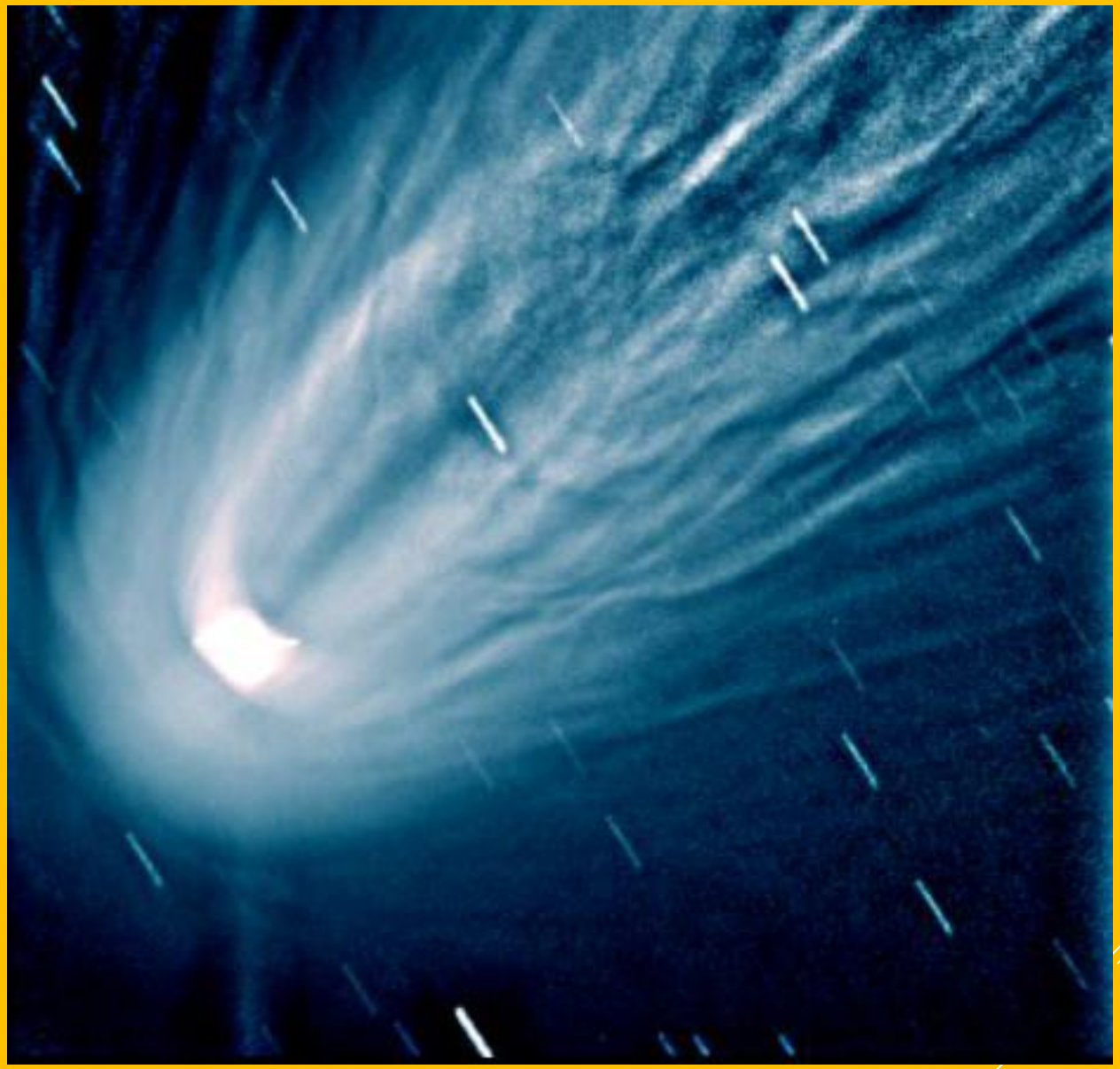



На нижньому зображенні поверхні ядра комети Темпеля 1 показано реальне положенння штучного кратеру на ядрі комети (К), ототожненого К.І.Чурюмовим і В.Г. Кручиненком, на відміну від неправильного ототоження американськими спеціалістами , показаного нагорі стрілками.



- На основі оригінальних спостережень пилових оболонок в атмосфері комети Гейла-Боппа у березні-квітні 1997 р. проведено аналіз міждобового зміщення окремих оболонок, одержано усереднені характеристики періодичності формування оболонок та визначено період обертання ядра комети Гейла-Боппа навколо осі (T = 11.41±0.05h) (К.І.Чурюмов).

- Запропоновано тривимірну модель променевої структури плазмового хвоста комети як результат розвитку філаментаційної нестійкості за наявності добре розвиненої іонно-звукової турбуленції у кометній плазмі при її обтіканні сонячним вітром. Показано, що товщина променів циліндричної форми досягає при цьому $10^3$ - $10^4$ км, кількість променів у хвості досягає 30 (К.І.Чурюмов з співавторами).



- **Виведено формулу, яка дає середню характеристику темпу допливу космічних тіл на Землю. Встановлено, що загальна кількість космічної речовини, яка попадає на Землю за рік, складає 0.14 Мт. Кожну добу в атмосферу Землі входить біля 400 метеороїдів з масами не менше 1 кг. Приблизно 30% з них досягають висоти 30 км і менше, а біля 0.5% – випадають на поверхню Землі. Кожного року на Землю випадає близько 800 метеоритів. Найбільше тіло, яке падає на Землю протягом року складає приблизно $10^3$ тонн (В.Г.Кручиненко).**

**В останні 10 років великий внесок в Україні у відкриття та дослідження нових малих планет у Сонячній системі зроблено у Андрушівській обсерваторії : реалізовано метод широкомасштабних пошукових спостережень з приладами зарядового зв'язку (ПЗЗ) для вивчення сімейства астероїдів, що становлять потенційну загрозу для Землі; відкрито та досліджено 352 нових невідомих астероїдів головного поясу, (нумерованих 170, орбіти ще 182 уточнюються): серед відкритих астероїдів об'єктів головного поясу – 115; троянців Юпітера -1; астероїдів, що наближаються до Землі (АЗС) – 2 та одна згасла комета сімейства Юпітера (2008 KB12). Вивчено фігури та параметри обертання астероїдів шляхом високоточних фотометричних спостережень; розроблено програмне забезпечення для автоматичної обробки пошукових спостережень в реальному часі; автоматизовано спостережні комплекси на базі сучасних ІТ-технологій; створено комплекс для спектрально-фотометричних досліджень комет та астероїдів (Ю.М.Іващенко);**

- З 1972 р. в Харкові почалися регулярні цілодобові вимірювання орбіт і координат радіантів метеорів. Вимірювання практично без перерв тривали до 1978 року , включно. У результаті була отримана унікальна база орбіт індивідуальних метеорів , що включає більше 230 тис. орбіт .
- Був розроблений метод , алгоритм програма багатокрокової процедури пошуку метеорних потоків і асоціацій (МПА) у вибірці орбіт індивідуальних метеорів з бази , отриманої за багаторічними вимірюваннями в Харкові . Метод використовує як основної функції відстані критерій Саутуорта - Хокінса і базується на найзагальніших принципах кластер - аналізу - випадковий вибір центрів гіпотетичних кластерів і багаторазово повторюваний пошук угруповань орбіт метеороідов в шестивимірному просторі їх елементів. У результаті виявлено 5160 МПА з кількістю метеорів не менше п'яти і розраховані оцінки елементів середніх орбіт МПА (Ю.І.Волощук).

- Виявлено кометно - астероїдно - метеороїдні комплекси ( КАМК ) , що дозволило зробити висновок, що багато малих тіл Сонячної системи генетично пов'язані між собою. Це в свою чергу дозволило виявити NEA , які з високою ймовірністю являють собою «висохлі » ядра комет. Той факт , що для деяких з 5160 МПА з числом метеорів 50 і більше не знайдено БТ серед відомих NEC і NEA , може свідчити про те , що на їх орбітах , крім дрібних тіл, що породжують метеорні сліди в атмосфері Землі , існують БТ , які ще не виявлені , і вони можуть представляти загрозу для Землі (Ю.І.Волощук).

- Створено базу метеорних потоків та асоціацій (МПА):
- Усього метеорних потоків і асоціацій (МПА) , внесених до бази ХНУРЕ , з кількістю метеороідов в МПА N не менше 5 - 5160 . З них кількість відомих МПА , отриманих іншими дослідниками – 1120. Кількість МПА , батьківськими тілами яких є NEA - 1154 з 5160 . Це підтверджує факт коректного відбору МПА , внесених до бази ХНУРЕ. Кількість МПА , батьківськими тілами яких є NEC , в базі ХНУРЕ - 39. Решта 2847 МПА виявилися невідомими. Якщо підвищити поріг N до 10 метеороідов в МПА невідомих раніше потоків в базі ХНУРЕ виявиться – 1427.
- Ця база, яка в 2-3 рази перевищує сумарну кількість МПА у всіх опублікованих у світі каталогах, була отримана за допомогою спеціального розробленого в Харкові алгоритму кластер-аналізу А1, призначеного для обробки вибірки орбіт індивідуальних метеорів великого об'єму. Особливістю цього алгоритму є те, що він не вимагає будь яких апріорних даних відносно МПА, окрім кількості метеорів в кластері, який можна розглядати вже як МПА і порогового значення функції відстані (Ю.І.Волощук)

- В рамках циклу робіт відкрито і досліджено 2 нові комети – одна короткоперіодична комета - 67P/(Чурюмова-Герасименко) та одна довгоперіодична - C/1986 N1 (Чурюмова-Солодовникова), До комети 67P в 2014 р. наблизиться космічний апарат Європейської космічної агенції «Розетта» і вперше в історії науки посадив на ядро комети 67P/(Чурюмова-Герасименко науковий зонд Філи і дослідив хімічні і фізичні властивості ядра, яке складається з первинної речовини, з якої 4.5 мільярдів років тому виникли Сонце і  планети, в тому числі і планета Земля. Ця кометна реліктова речовина стала також джерелом складної органічної речовини, в тому числі амінокислот, які призвели до зародження життя на нашій планеті. Знання фізичних і хімічних властивостей реліктової речовини  дозволить вирішити фундаментальні наукові проблеми космогонії Сонячної системи і зародження життя на Землі, що є актуальними науковими задачами.

- Монографії
- К.И.Чурюмов. Кометы и их наблюдение. 1980. Наука. М. 170 с.
- Н.А.Беляев, К.И.Чурюмов. Комета Галлея и ее наблюдение. 1985. Наука. Москва. 271 с.
- Ю.І.Волощук, Б.Л.Кащеєв, В.Г.Кручиненко. Метеоры и метеорное вещество, К. – Наукова  Думка, 1989. – 294 с.
- Ю.І.Волощук. Метеорные потоки и ассоциации, выявленные по результатам многолетних радиолокационных наблюдения метеоров в Харькове. 2011.- Изд. НТМС. – Харьков. – 382с.
- В.Г.Кручиненко. Математико-фізичний аналіз метеорного явища. – 2012. – К. - Наукова  Думка – 294 с.
- К.И.Чурюмов, Гулиев А.С., Кручиненко В.Г., Чурюмова Т.К. Кометно-астероидная опасность: реальность и вымыслы. – 2012. – изд. Баку-Элм. – 175с.

- **Вибрані публікації:**


- **K.I.Churyumov, S.I.Gerasimenko. Physical observations of the shortperiod comet 1969h. Motion, origin and evolution orbit of comets. 1972. Proceedings of Symp.45 IAU. Dordrecht-Holland, P.27-34**
- **Churyumov K.I., Kleshchonok V.V., Reut I.V. Light echoes from Europa and Io during events of Shoemaker-Levi 9 A and Q fireballs in the Jupiter atmosphere and possible origin of comet SL-9. Astron. and Astrophys. Transactions. 1997, 13, p. 205-213.**
- **Churyumov K.I., Chorny G.F., Kleshchonok V.V. Luminosity of the triplet bands of netral CO molecules in the atmosphere of comet Scorichenko-George (1990 VI). Astron. and Astrophys. Transactions. 1997, 13, p. 225-231.**
- **Чурюмов К.И., Шабас Н.Л. (1998) Физические условия в плазменном хвосте кометы Галлея в период его отрыва 6-8 января 1986 г. Астрономический Вестник, т.32 № 3**
- **К.И.Чурюмов, В.В.Клещенок, В.В.Власюк (1998) Спектральный мониторинг яркой кометы Хейла-Боппа с помощью 6-метрового телескопа САО РАН в 1996-1997 гг. Известия РАН. Серия физическая. Т.62. № 9. С.1914-1918.**
- **Churyumov K.I., Rozenbush V.K., Rspayev F.K., Gorodetsky D.I. Some results of the narrowband photometry of comet P/Halley (1986 III)// Astrophys. Journ. 1990. V.356. P. 687-692.**
- **Коцаренко Н.Я., Лизунов Г.В., Чурюмов К.И. К вопросу о волновых структурах в кометных хвостах I-го бредихинского типа// Письма в Астроном. журн. 1990. Т.16. №3. С.264-269.**
- **Чурюмов К.И., Филоненко В.С. Особенности кривой блеска короткопериодической кометы Чурюмова-Герасименко (1982 VIII)// Астрономич. вестн. 1991. Т.25. №1. С.109-115.**
- **Churyumov K.I., Rozenbush V.K. Peculiarities of gas and dust production rates in comets P/Halley (1986 III), P/Giacobini-Zinner (1986 III), P/Hartley-Good (1985 VII) and P/Thiele (1985 XIX)// Astronomischen Nachrichten. 1991. V.312. N.6. P.385-392.**
- **Чурюмов К.И., Филоненко В.С. Влияние вспышечной активности на кривые блеска комет Галлея (1986 III) и Чурюмова-Герасименко (1982 VIII). Письма в Астрономический журнал, 1991, 6, М., Наука, 1135-1142.**

- Чурюмов К.І. Смуги Асунді a'3Σ+ - a3Πr та триплету d3Δ - a3Π у спектрі комети Скориченка-Джорджа// Вісн.Київ. ун-ту. 1992. Астрономія. Вип.3. С.46-49.
- Churyumov K.I., Chorny G.F. The first identification of C2– emission bands in comet Scorichenko-George (1989e1) spectrum// Proceedings of the International Conference "Asteroids, Comets, Meteors 1991". 1992. P.117-120.
- Churyumov K.I., Tessel'ko N.L., Karachentsev I.D.. Parameters of the magnetic field of the comet P/Churyumov-Gerasimenko (1982 VIII) plasma tail// Proceedings of the 30th Liege International Astrophysical Colloquium "Observations and physical properties of small solar system bodies". 1992. P.303-305.
- Чурюмов К.И., Чорный Г.Ф., Шаповалова А.И. Открытие эмиссии отрицательного иона углерода C2– в спектре кометы Скориченко-Джорджа (1990 VI)// Письма в Астрономич. журн. 1993. Т.19. №9. С.816-822.
- Верхоглядова О.П., Коцаренко Н.Я., Пасько В.П., Чурюмов К.И. Теория крупномасштабной стратификации в плазменных хвостах комет// Письма в Астрономич. журн. 1993. Т.19. №9. С.823-867.
- Чурюмов К.И., Клещенок В.В., Кравцов Ф.И. Физические параметры нейтральной газовой комы кометы Галлея (1986 III) 8, 9 и 10 мая 1986 г.//Письма в Астрономич. журн. 1994. Т.20. №7. С.538-542.
- Чурюмов К.И., Клещенок В.В., Власюк В.В. Спектральные наблюдения кометы Шомасса (1992x) на 6-метровом телескопе БТА//Письма в Астрономич. журн. 1994. Т.20. №9. С.719-720.
- Kotsarenko N.Ya., Verkhoglyadova O.P., Churyumov K.I. Three-dimensional model of of ray structure formation in cometary plasma tail // Planetary and Space Sciences. 1994. V.42. N.9. P.733-736.
- Churyumov K.I., Kleshchonok V.V., Mussaev F.A., Bikmaev I.F., Galazutdinov G.H. Observations of high resolution spectra of comet Hale-Bopp (C/1995 O1) at the SAO of the RAS. Earth, Moon and Planets, 1999, 78, 1, P.105-110.
- Churyumov K.I., Kleshchonok V.V., Vlassyuk V.V. Spectra of comet Hale-Bopp (C/1995 O1) obtained with the 6-m BTA reflector at Mount Pastukhov. Earth, Moon and Planets, 1999, 78, 2, P.111-117.

- K.I. Churyumov, I.V. Lukyanyk, V.V. Vlassyuk, N.V. Borisov Spectra of Split Comet C/1999 S4 (LINEAR)// Earth, Moon and Planets, 2002, V.90, P.141-146
- K.I. Churyumov, I.V. Lukyanyk, A.A. Berezhnoi, V. H. Chavushyan, L. Sandoval, A. Palma. Optical Spectroscopy of Comet C/2000 WM1 (LINEAR) at the Guillermo Haro Astrophysical Observatory in Mexico // Earth, Moon and Planets, 2002, V.90, P.361-368
- E. Picazzio, A. de Almeida, K.I. Churyumov, S.M. Andrievskii, I.V. Lukyanyk The Optical Spectroscopy and Near Infrared Observations of Comet C/2000 WM1 (Linear) in December, 2001 in Chile and Brazil // Earth, Moon and Planets, 2002, V.90, P. 391-400
- I.V. Lykyanyk, K.I. Churyumov. Observations of Comet C/2001 A2 (LINEAR) with the Multipupil Fiber Spectrograph // Earth, Moon and Planets, 2002, V.90, P.177-183
- K.I. Churyumov, I.V. Lukyanyk, V.V. Vlassyuk, N.V. Borisov Spectra of Split Comet C/1999 S4 (LINEAR)// Earth, Moon and Planets, 2002 V. 90, P. 42-48
- K.I. Churyumov, I.V. Luk'yanyk, A.A. Berezhnoi, V.H. Chavushyan, L. Sandoval, A. Palma, L.S.Chubko. Spectral observations of the comet C/2000 WM1 (LINEAR) in Mexico // Astronomical and Astrophysical Transactions , 2003 , Vol. 22 (3), P. 1-5.
- К.И.Чурюмов, В.В.Клещенок. Отождествление эмиссий в спектре кометы C/1989 Y1 (Скоритченко-Джорджа), полученном на 6-м рефлекторе САО РАН. Астрономический вестник. 2001, том 35, № 3, С. 257 – 261
- Шабас Н.Л., Чурюмов К.И., Лукьяник И.В., Кравцов Ф.И. О магнитном поле и других физических параметрах в плазменном хвосте кометы Абе (C/1970 N1) // Кинематика и физика небес. тел. – Киев. –2002.–Т.18, № 5 .- С.412-417.
- K.I. Churyumov, I.V. Lukyanyk, A.A. Berezhnoi, V. H. Chavushyan, L. Sandoval, A. Palma Optical Spectroscopy of Comet C/2000 WM1 (LINEAR) at the Guillermo Harro Astrophysical Observatory in Mexico // Earth, Moon and Planets, 2002, V.90, P.12-22
- E. Picazzio, A. de Almeida, K.I. Churyumov, S.M. Andrievskii, I.V. Lukyanyk The Optical Spectroscopy and Near Infrared Observations of Comet C/2000 WM1 (Linear) in December, 2001 in Chile and Brazil // Earth, Moon and Planets, 2002 V.90, P.23-32

- I.V. Lykyanyk, K.I. Churyumov Observations of Comet C/2001 A2 (LINEAR) with the Multipupil Fiber Spectrograph // Earth, Moon and Planets, 2002, V. 90, P. 33-41
- K.I. Churyumov, I.V. Lukyanyk, V.V. Vlassyuk, N.V. Borisov Spectra of Split Comet C/1999 S4 (LINEAR)// Earth, Moon and Planets, 2002 V. 90, P. 42-48
- Филоненко В.С., Чурюмов К.И. Некоторые особенности кривых блеска и вспышечной активности комет. Астрономический вестник. 2003, т. 37, № 2, с. 150-161.
- В.С.Филоненко, К.И.Чурюмов. Особливості кривих блиску та спалахової активності комет.Вісник Астрономічної школи. 2004, т.1-2. р. 42-59.
- K.I.Churyumov. Discovery, observations and investigations of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko in Kyiv// in the book "The new ROSETTA targets", 2004, Kluwer acad. Publ. Collangelli et al. (eds), p.1-13
- K.I. Churyumov Physical parameters of the plasma tail of Rosetta target comet 67P/Churyumov-Gerasimenko // Advances in Space Research, No.7, July 2006, p.203-215
- К.И.Чурюмов. Космические миссии к ядрам комет – от Вег до Розетты. Физика космоса. Труды 35-й международной студенческой научной конференции. Екатеринбург. 2006. 197-209
- Filonenko V. S., Churyumov K. I. An investigation of the light curve of Deep Impact target comet // Advances in Geosciences, 2006, Vol. 3, p. 185-189
- Filonenko V. S., Churyumov K. I. New peculiarities of cometary outburst activity // Advances in Space Research, 2006, Vol.38, Issue 9, p. 1940-1945.
- A. Palma, L. Sandoval1, K. Churyumov, V. Chavushyan, and A.Berezhnoy. FRANCK-CONDON FACTORS FOR MOLECULES OBSERVED IN COMETS// International Journal of Quantum Chemistry, V.107, 2007, p. 2650-2653
- V. S. Filonenko and K. I. Churyumov. Light Curves of Selected Comets: Photometric Parameters and Flares. Physics and Astronomy. - Solar System Research. - 2007.-Volume 35. - Number 2, p.158-162

- К.И.Чурюмов, В.С.Филоненко, Л.С.Чубко «Эволюция кривой блеска кометы 9P/Темпеля 1 с 1867 по 2005 гг.». Кінематика і фізика небесних тіл, 2008, №6, с. 469-474.
- Гулиев А. С., Чурюмов К.И., Байрамов А. Ш. Каталог физических параметров ряда периодических комет, наблюдавшихся в 1989 – 2002 гг. Азербайджанский Астрономический Журнал т.1, №1-2, 2009, с.5-14.
- Filonenko V. S., Churyumov K. I. An investigation of the light curve of Deep Impact target comet // Advances in Geosciences, 2006, Vol. 3, p. 185-189.
- Filonenko V. S. and Churyumov K. I. The Visual Brightness Behavior of Comet 9P/Tempel 1 During 1972–2005 // Deep Impact as a World Observatory Event: Synergies in Space, Time, and Wavelength. Proceedings of the ESO/VUB Conference held in Brussels, Belgium, 7-10 August 2006. Springer Berlin / Heidelberg. 2009. P. 73-77.
- Churyumov K. I., Kruchinenko V.G., Chubko L. S. The Size of the Artificial Explosive Crater on the Nucleus of Comet 9P/Tempel// Deep Impact as a World Observatory Event: Synergies in Space, Time, and Wavelength. Proceedings of the ESO/VUB Conference held in Brussels, Belgium, 7-10 August 2006. Springer Berlin / Heidelberg. 2009. P. 191-196
- L. S. Chubko, K. I. Churyumov, V. L. Afanasiev, I. V. Lukyanyk and V. V. Kleshchonok. Comparison of the Spectra of the Comets 9P / Tempel 1 and C / 2004 Q2 (Machholz) // Deep Impact as a World Observatory Event: Synergies in Space, Time, and Wavelength. Proceedings of the ESO/VUB Conference held in Brussels, Belgium, 7-10 August 2006. Springer Berlin / Heidelberg. 2009. P. 197-200
- Л.С. Чубко, К.І. Чурюмов, В.Л. Афанас'єв, І.В. Лук'яник, В.В. Клещонок Виявлення люмінесцентного континууму в спектрах комет 9P/Tempel 1, та C/2004 Q2 (Macholz) // Вісник астрономічної школи 2009 №1-2 - с. 212-215.
- О.Р. Баранський, С.А. Борисенко, К.І.Чурюмов Результати спостережень малих тіл Сонячної системи на спостережній станції Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка // Вісник астрономічної школи 2009, №1-2 - с.127-130.
- Churyumov K.I., Afanasiev V.L., Picazzio E., Kleshchonok V.V., Lukyanyk I.V., Ponomarenko V., Baransky A., Almeida A., Costa R.D.D., Chubko L.S. Physical parameters of gaseous and dust atmosphere of three comets 9P/Tempel 1, 37P/Forbes and C2004 Q1 (Machholz) // Вісник астрон. школи (2009) – Т.6, №2. – С. 141-150.

- Чурюмов К.И. Космические миссии к ядрам комет: от Веги и Джотто до Розетты// Збірник наукових праць Кам´янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. Випуск 15. Управління якістю підготовки майбутніх учителів фізики і трудового навчання. 2009. с. 55-60.
- Чурюмов К.И., Пономаренко В.А., Клещонок В.В, Баранский А.Р. Люминесцентный континуум в спектрах кометы C/2007 N3 (Lulin). Astronomicheskiy Tsirkulyar. – 2013. - ISSN 0236-2457. - EAAO Shternberg astronomical institute. – Moscow. - № 1603. – p. 1-4
- E. Picazzio, K.I. Churyumov, S.M. Andrievsky , I.V. Lukyanyk, V.V. Kleshchonok, A.A. de Almeida, Spectroscopic Study of Comet 9P/Tempel 1. – Astronomical and Astrophysical Transactions. – 2013. – V. 28. – T. 3. – p. 34-44
- Чурюмов К.І. Каталог комет, проходящих через перигелий в 2014 г. Вісник астрономічної школи. -2013. – т. 9. - № 2. с. 128-132
- Чурюмов К.І., Пономаренко В.О., Клещонок В.В, Баранський О.Р. Люмінесцентний континуум та інші спектральні особливості комети C/2007 N3 (Lulin). Вісник астрономічної школи. -2013. – т. 9. - № 1. с. 10-14
- Кручиненко В.Г., Чурюмов К.І., Мозгова А.М. Фізика челябинського боліду. Вісник астрономічної школи. -2013. – т. 9. - № 1. с. 43-47
- Х.М. Микаилов, К.И. Чурюмов, Р.А., Гулиев, Ш.К. Исмаилова. Каталог эмиссионных линий в спектре кометы C/2004 Q2 (Мейчгоулца) 15 января 2004 года. Вісник астрономічної школи. -2013. – т. 9. - № 2. с. 122-127
- К.І.Чурюмов, Ю.Г.Рапопорт. Солітонна модель утворення сферичних хмар у плазмових хвостах комет. - Вісник астрономічної школи. -2013. – т. 9. - № 2. с. 142-144
- Nataliya Kovalenko, Rustam Guliyev, Klim Churyumov. Orbital evolution modeling of Damocloides. - Вісник астрономічної школи. -2013. – т. 9. - № 2. с. 159-163
- К.И.Чурюмов. Исследование комет и космогония Солнечной системы, Земля и Вселенная. Москва. «Наука». – РАН. 2013. - № . – с 16-29
- Кручиненко В.Г. Хайдукова М., Хайдук А. О скоростях вылета частиц из ядра кометы Галлея // Acta Astronomica et Geophysyca Univ. Comenianae, Bratislava. – 1988. – XIII – XIV. P. 67 – 71.

Churyumov K.I., Kruchynenko V.G. and Makarchuk R.V. Size, physical properties, and orbital evolution of the comet Hale – Bopp (C/1995 01) nucleus // Proc.IAU Coll.173. Evolution and Source Regions of Asteroids and Comets / Eds.: J.Svoren, E.M.Pittich, and H.Rickman. Astron. Inst. Acad. Sci., Tatranska Lomnica. – 1999. – P. 371 – 374.

- Churyumov K.I., Kruchynenko V.G., Kleschonok V.V. and Reut I.V. Physical parameters of the comet SL-9 Q2 secondary nucleus, its fireball in the Jupiter atmosphere and dust tail // METEOROIDS 1998. Astron. Inst., Slovak Acad. Sci., Bratislava. – 1999. – P. 379 – 382.
- Kruchynenko V.G. Thermal Explosions of Meteoroids in the Eartth's Atmosphere // Proc. Intern. Conf. Meteoroids 2001. – 2001 November. SP–495. – P. 351 – 356.
- Кручиненко В.Г. Тепловые взрывы метеороидов в атмосфере Земли // Кинематика и физика небес. тел. – 2004. – Т.20, № 3. – С. 269 – 282.
- Кручиненко В.Г., Чурюмов К.И., Добрянский Ю.П., Вальтер А.А. Определение возможного размера кратера на ядре кометы 9P/Темпеля I // Кинематика и физика небес. тел. – 2005. – Т.21, № 1. – С. 49 – 52.
- Simonenko A.N., Sherbaum L.M., Kruchinenko V.G. On the Character of Evolution of Orbits in the Vicinity of the 1:3 Kirkwood Gap // Icarus. – 1979. – Vol.40, № 3. – P. 335 – 340.
- Kruchinenko V.G. The Collision of the Comet Shoemaker-Levy 9 with Jupiter // Astronomical and Astrophysical Transactions. – 1997. – Vol.13. – P. 191 – 197.
- Kruchynenko V.G. and Churyumov K.I. Size and physical properties of the comet Hale – Bopp (C/1995 01) nucleus // Earth, Moon, and Planets. – 1997-1999. – Vol. 77, № 3. – P. 141 – 146.
- Kruchynenko V.G. Integrated density of. influx of space bodies onto Earth for a wide range of masses // METEOROIDS 1998. Astron. Inst., Slovak Acad. Sci., Bratislava. – 1999. – P. 329 – 332.

- Churyumov K.I., Kruchynenko V.G. and Makarchuk R.V. Size, physical properties, and orbital evolution of the comet Hale – Bopp (C/1995 01) nucleus // Proc.IAU Coll.173. Evolution and Source Regions of Asteroids and Comets / Eds.: J.Svoren, E.M.Pittich, and H.Rickman. Astron. Inst. Acad. Sci., Tatranska Lomnica. – 1999. – P. 371 – 374.
- Кручиненко В.Г., Волощук Ю.І., Кащеєв Б.Л., Казанцев А.М., Лупішко Д.Ф., Яцків Я.С. Метеорно – астероїдна небезпека та доплив космічної речовини на Землю // Космічна наука і технологія – 1999. – Т. 5, № 1. – С. 3 – 17.
- Churyumov K.I., Kruchynenko V.G., Kleschonok V.V. and Reut I.V. Physical parameters of the comet SL-9 Q2 secondary nucleus, its fireball in the Jupiter atmosphere and dust tail // METEOROIDS 1998. Astron. Inst., Slovak Acad. Sci., Bratislava. – 1999. – P. 379 – 382.
- ReVelle D.O., Kruchynenko V.G. Influx of Space Bodies to the Earth (LA-UR-00–1575) // Suppl. “Kinematics and Physics of Celestial Bodies”. – 2000. – № 3. – P. 252 – 255
- Кручиненко В.Г. Метеоритные кратеры на поверхности Земли // Кинематика и физика небесных тел. – 2000. – Т.16, № 6. – С. 507 – 518.
- Кручиненко В.Г. Приток космических тел на Землю в широком интервале масс // Кинематика и физика небес. тел. – 2002. – Т.18, №
- Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Подоляка В.А. Метеорный комплекс вблизи орбиты Земли: спорадический фон, потоки, ассоциации. 1. Методика выделения потоков и ассоциаций из выборок орбит индивидуальных метеоров большого объема // Астрон. вестн. 1995. Т. 29. №5. С.439–449.
- Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л. Исследование структуры метеорного комплекса вблизи орбиты Земли. I. Описание модели. // Астрон. вестн. 1985. Т. 19. №4. С. 331–336.
- Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л. Метеорный комплекс вблизи орбиты Земли: спорадический фон, потоки, ассоциации. 2. Сравнительный анализ некоторых статистичуских характеристик потоковых и спорадических метеорных тел // Астрон. вестн. 1996. Т. 30. №6. С.541–560.

- Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л., Назаренко Н.Б. Исследование структуры метеорного комплекса вблизи орбиты Земли. II. Оценка пространственно-вероятностных характеристик. // Астрон. вестн. 1986. Т. 20. №1. С. 50–60.
- Волощук Ю.И., Воргуль А.В., Кащеев Б.Л. Метеорный комплекс вблизи орбиты Земли: спорадический фон, потоки, ассоциации. 3. Источники потоковых и спорадических метеорных тел // Астрон. вестн. 1997. Т. 31. №4. С.345–369.
- Волощук Ю.И., Кащеев Б.Л. Методика расчета средних орбит метеорных потоков // Астрон. вестн. 1999. Т. 33. №4. С.345–369.
- Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 2.– Харків: «Компанія СМІТ», 2003. 444 с.
- Волощук Ю.И., Соляник О.А. Структура и связи в межпланетных комплексах астероидов, комет и метеорного вещества. 2-й Международный радиоэлектронный Форум МРФ-2005.,2005, Сборник научных трудов. Том 1.– Харьков: АН ПРЭ, ХНУРЭ. С. 165 – 170.
- К.Чурюмов, В.Кручиненко, Т. Чурюмова. Проблема кометно-астероїдної загрози для людства: реальність і міфи - 1. Журнал «Фізика та астрономія в сучасній школі» МОНмолодіспорту. 2012. - № 1.с. 16-24.
- К.Чурюмов, В.Кручиненко, Т. Чурюмова. Проблема кометно-астероїдної загрози для людства: реальність і міфи - 2. Журнал «Фізика та астрономія в сучасній школі» МОНмолодіспорту. 2012. - № 2. с. 20-26
- К.Чурюмов, В.Кручиненко, Т. Чурюмова. Проблема кометно-астероїдної загрози для людства: реальність і міфи - 3. Журнал «Фізика та астрономія в сучасній школі» МОНмолодіспорту. 2012. - № 3.с. 17-25.
- К.Чурюмов, В.Кручиненко, Т. Чурюмова. Проблема кометно-астероїдної загрози для людства: реальність і міфи - 4. Журнал «Фізика та астрономія в сучасній школі» МОНмолодіспорту. 2012. - № 4. с. 15-23
- К.І. Чурюмов, В.О. Пономаренко, В.В. Клещонок, О.Р. Баранський, Н.С. Коваленко. Дослідження спектрів комети 81P/Wild 2 отриманих в березні-квітні 2010 року. Вісник астрономічної школи. – 2012.- т. 8 - №1-2 - с. 180-186

- К.І. Чурюмов, В.О. Пономаренко, В.В. Клещонок, М.А. Кузнєцов, А.М.Мозгова. Оптична спектроскопія комети 103P/Hartley 2 в жовтні 2010 року. Вісник астрономічної школи. – 2012.- т. 8 - №1-2 - с. 187-192.
- Л. В. Ксанфомаліті, К.І.Чурюмов. Фізичний механізм майбутнього розділення ядра комети 103P/Хартлі 2. Вісник астрономічної школи. – 2012.- т. 8 - №1-2 - с. 209-215.
- К.І.Чурюмов. Каталог проходження 59 комет через перигелії орбіт в 2013 р. Вісник астрономічної школи. – 2012.- т. 8 - №1-2 - с. 216-220.
- К.І.Чурюмов. Космічні місії до ядер комет – ключі для розуміння космогонії Сонячної системи//Вісник астрономічної школи. – 2012.- т. 8 - №1-2 – с. 53-69
- Чурюмов К., Клещонок В., Баранський О., Пономаренко В. Спостереження пилових джетів в кометі 81P/Вілда 2. Вестник Київського університету. Сер. Астрономія. Вип. 48. – 2012. с. – 59-62
- Korsun P., Kulyk I., Ivanova O., Afanasiev V., Kugel F., Rinner C., Ivashchenko, 2010, Dust tail of active distant comet C/2003 WT42 (LINEAR) studied with photometric and spectrophotometric observations. *Icarus*, *210*, 916-929.
- Borysenko S., Korsun P., Ivashchenko Yu., 2011, Determination of the optical thickness of coma of comet 73/P Schwassmann-Wachmann 3 (fragment C), Visnyk Kyivskogo Natsionalnogo Universytetu imeni Tarasa Shevchenka, 47, p. 17-19 (in Ukr.)
- O. Shubina, P.Korsun, Yu.Ivashchenko,Low-resolution spectrum of comet C/2004 Q2 (Machholz) Advances in Astronomy and Space Physics, 2, 173-176 (2012). Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel, Suppl, v. 5, p. 497-499 06/2005
- Чурюмов К.И., Пономаренко В.А., Клещонок В.В, Баранский А.Р. Люминесцентный континуум в спектрах кометы C/2007 N3 (Lulin). Astronomicheskiy Tsirkulyar. – ISSN 0236-2457. - EAAO Shternberg astronomical institute. – Moscow. - № 1603. – p. 1-4
- Чурюмов К.І., Пономаренко В.О., Клещонок В.В, Баранський О.Р. Люмінесцентний континуум та інші спектральні особливості комети C/2007 N3 (Lulin) // Вісник астрономічної школи. - 2013. – т. 9. - № 1. с. 10-14
- Кручиненко В.Г., Чурюмов К.І., Мозгова А.М. Фізика Челябінського боліду // Вісник астрономічної школи. - 2013. – т. 9. - № 1. с. 43-47.

- Мікаїлов Х.М., Чурюмов К.І., Гулієв Р.А., Ісмаїлова Ш.К. Каталог емісійних ліній в спектрі комети C/2004 Q2 (Мейчгоулца) 15 січня 2004 року// Вісник астрономічної школи. - 2013. – т. 9. – № 2. с. 119-124.
- Чурюмов К.І. Каталог комет, що проходять через перигелій у 2014 р.// Вісник астрономічної школи. - 2013. – т. 9. – № 2. с. 125-129.
- Чурюмов К.І., Рапопорт Ю.Г. Солітонна модель утворення сферичних хмар у плазмових хвостах комет // Вісник астрономічної школи. - 2013. – т. 9. – № 2. с. 125-129.
- Коваленко Н.С., Гулієв Р.А., Чурюмов К.І., Пономаренко В.О., Клещонок В.В. Динамічна еволюція 93-х Дамоклоїдів. // Вісник астрономічної школи. - 2013. – т. 9. – № 2. с. 155-161.
- Berezhnoy A.A., Churyumov K.I., Kleshchenok V.V., Kozlova E.A., Mangano V.,

  Pakhomov Yu.V., Ponomarenko V.O., Shevchenko V.V., Velikodsky Yu.I.

  Properties of the lunar exosphere during the Perseid 2009 meteor shower,

  Planetary and Space Science, V. 96, p. 90-98, 2014
- Коваленко Н., Гулієв Р., Чурюмов К. Про нахили орбіт Дамоклоїдів в ході динамічної еволюції. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Астрономія». – 1 (50). – 2013. – с.41-43
- Ксанфомалити Л., Чурюмов К. Динамическая устойчивость астероидов Итокава, Тоутатис и ядра кометы Борели. - Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Астрономія». – 1 (50). – 2013. – с.43-46
- Мозговая А., Чурюмов К., Смирнов В. Временная эволюция спектра метеора 9-10 августа1965 года. - Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Астрономія». – 1 (50). – 2013. – с.49-52
- Ponomarenko V., Churyumov K., Kleshchonok V., Kovalenko N. Parameters of the dust coma of comet C/2009 P1 (Garradd). - Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Астрономія». – 1 (50). – 2013. – с.52-55

**Посадка наукового зонда Філи на ядро комети Чурюмова-Герасименко 12 листопада 2014 р. (вперше в історії науки)**